

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОЖИДКОГО СОСТОЯНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Масликов П.А.¹, Демидович В.Б.¹, Наке Б.², Никаноров А.Н.²

¹*г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ»*

²*г. Ганновер, Ганноверский университет им. Лейбница, институт Электротехнологий*

Анализ мировых тенденций и прогнозов в области применения металлических сплавов до 2020 года показывают, что титановые сплавы являются перспективными материалами широкого назначения [1, 2].

Получение литых заготовок из титана затруднительно из-за его высокой химической активности, поэтому ведутся работы по устранению контакта жидкого металла с окружающей средой без использования защитной атмосферы или вакуума [3-5].

В ходе представленных исследований предлагается способ получения расплава титана внутри самого слитка индукционным методом. Вследствие скин-эффекта при индукционном нагреве источники теплоты распределены по сечению заготовки неравномерно: максимальное тепловыделение происходит на поверхности, с увеличением расстояния от поверхности интенсивность источников теплоты падает. Соответственно поверхностные слои имеют более высокую температуру, чем середина, причем эта разность температур тем больше, чем больше мощность, на которой осуществляется нагрев, и чем выше частота тока.

При этом по мере разогрева заготовки происходит рост тепловых потерь с её поверхности в окружающую среду. Отвод теплоты качественно отражается на характере температурного поля: вследствие охлаждения поверхности в глубине заготовки образуется зона, имеющая более высокую температуру, чем поверхность.

Это явление имеет место при индукционном нагреве всех металлов, однако для титановых сплавов оно проявляется сильнее из-за низкой теплопроводности и высокой температуры плавления. Перегрев внутренних слоев металла может привести, в конечном счете, к их расплавлению. В таком случае поверхность титановой заготовки будет служить защитным слоем (гарнисажем) и защитит расплав от химического загрязнения, не позволив ему реагировать с внешней средой. Следовательно, для титана возможно путем подбора параметров установки и изменением условий технологического процесса добиться получения расплава внутри слитка.

Численные исследования проводились с помощью двух программных пакетов – UNIVERSAL 2D и ANSYS. В качестве заготовок были выбраны цилиндры размером 60x100 мм и весом примерно 1,3 кг из сплава ВТ6.

Процесс нагрева происходит практически до наступления теплового баланса между энергией, поступающей в заготовку, и тепловыми потерями с её поверхности. Такой режим нагрева позволяет добиться максимума температуры в центре слитка.

Исследования проводились в диапазоне частот от 1 кГц до 15 кГц. Такой диапазон выбран для сравнительного анализа количества расплава и времени его образования. На его основе выбрана частота для проведения экспериментальных исследований.

Исследования показали, что максимально возможный объем расплава, полученный при нагреве титана, составляет 75-76%, но при этом вследствие краевого эффекта с ростом частоты идет сильный перегрев торцов загрузки, что недопустимо для технологического процесса. Для получения необходимого количества расплава при приемлемом электрическом КПД целесообразно повышать частоту, соблюдая при этом компромисс между частотой и временем, которое необходимо для нагрева и расплавления.

Для подтверждения результатов, полученных при численном моделировании в ANSYS, были проведены расчеты в программном пакете UNIVERSAL 2D, что позволило путем перекрестных расчетов подтвердить достоверность полученных результатов.

Для дальнейших исследований была выбрана частота 4 кГц, и уже на этой частоте осуществлялся подбор оптимального режима по мощности, напряжению и току.

Лучший результат (максимальный объем расплава в % от общей массы слитка) был достигнут на частоте 4 кГц при токе индуктора 1270 А. Дальнейшее даже незначительное увеличение тока индуктора и, соответственно, мощности приводит к проплавлению поверхности заготовки. С другой стороны ток в 1160 А является недостаточным для образования расплава внутри слитка.

Численное моделирование показало возможность реализации предложенной технологии, после чего полученные результаты были перенесены на экспериментальные исследования, проводимые на лабораторных макетах.

В ходе экспериментальных исследований было изготовлено два макета индукционного нагревателя: первый для заготовок из сплава ВТ6 размерами Ø20x30 мм и Ø30x35 мм, а второй – для цилиндров Ø60x100 мм.

Основные параметры экспериментальных макетов

Параметры	Макет № 1		Макет № 2
Размеры заготовки, мм	Ø20x30	Ø30x35	Ø60x100
Частота, кГц	7	7	4
Ток индуктора, А	~ 975	~ 910	~ 1050
Время, с	~ 245	~ 235	~700

Анализируя первые шаги в данном направлении, можно с уверенностью сказать о возможности реализации процесса получения расплава с помощью предложенной технологии. В ходе эксперимента было получено подтверждение численных результатов, однако стоит отметить, что упрощенная модель не показывает точной формы расплава внутри заготовки. Таким образом, можно сказать, что для более точного прогнозирования процесса в модель необходимо включать расчет как тепловой и электромагнитной, так и гидродинамической задач.

Библиографический список

1. Развитие литейной отрасли до 2020 года по прогнозам специалистов США: Информационный бюллетень. М.: ИТЦМ «Металлург», 2000. № 5. 15 с.
2. Никитин В.И. У белого металла не будет чёрных дней // *Металлоснабжение и сбыт*. 2000. № 3. С. 72-74.
3. Demidovich V., Maslikov P., Olenin V. Innovative induction heating technologies of processing titanium alloys // *Proceedings of the XVII UIE Congress 21-25 May, 2012. St.Petersburg, 2012. P. 390-393.*
4. Демидович В.Б., Масликов П.А., Баранов Д.А., Ковинька А.А. Технологии электромагнитного получения литых изделий из титана и титановых сплавов // *Индукционный нагрев*. 2012. № 2 (20). С. 14-18.
5. Демидович В.Б., Масликов П.А., Григорьев Е.А., Оленин В.А. Инновационные технологии обработки титановых сплавов с применением индукционного нагрева // *Индукционный нагрев*. 2012. № 3 (21). С. 26-28.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ – НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

*Михалаш М.А., Комкова М.Г., Толстова Ю.И.
УрФУ, e-mail:yu.i.tolstova@ustu.ru*

Согласно действующим строительным нормам СНиП 23-02 «Теплозащита зданий», решения по теплозащите должны приниматься по условиям энергосбережения. Нормативы, установленные в 2000 году, были пересмотрены в 2005 году в сторону увеличения и используются при проектировании до настоящего времени. Сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения $R_0^{\text{ЭН}}$ принимается в зависимости от назначения зданий, вида ограждающей конструкции и показателя суровости климата – величины градусо-суток отопительного периода B :

$$B = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) Z_{\text{оп}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха в помещении, °С; $t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С; $Z_{\text{оп}}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

Анализ технических решений и оценка экономических тенденций развития энергетики, выполненные В.Г. Гагариным [1], показал, что дальнейшее повышение уровня теплозащиты зданий не является экономически целесообразным как по инвестиционной привлекательности, так и по эффективности капитальных вложений.

В инженерной практике принято оценивать основные решения по экономическим условиям: оптимальному варианту должны соответствовать минимальные затраты финансовых средств. Рассмотрим этот подход применительно к задаче проектирования теплозащиты зданий.

Годовые затраты на поддержание заданных параметров воздушной среды (приведенные затраты) в помещениях складываются из затрат на устройство теплозащиты наружных ограждающих конструкций и эксплуатационных затрат (затрат на отопление):

$$\Pi = EK + \Xi, \quad (2)$$